

**OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS OPERACIONAIS DE UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS DE UMA INDÚSTRIA DE
PEÇAS AUTOMOTIVAS**

Tiago Siegle

Orientador

Prof. Dr. Fernando Soares Pinto Sant'Anna

2012/2



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

Tiago Siegle

**OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS OPERACIONAIS DE UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS
DE UMA INDÚSTRIA DE PEÇAS AUTOMOTIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para
Conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando
Soares Pinto Sant'Anna

FLORIANÓPOLIS, 2013

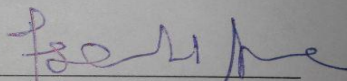
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL

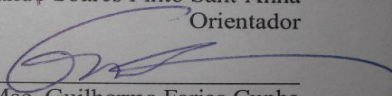
**OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS OPERACIONAIS DE UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS
DE UMA INDÚSTRIA DE PEÇAS AUTOMOTIVAS**

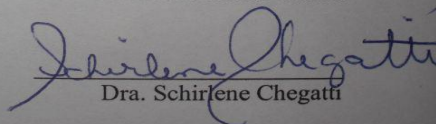
TIAGO SIEGLE

Trabalho submetido à Banca Examinadora
como parte dos requisitos para Conclusão do
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária
e Ambiental – TCC II

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Fernando Soares Pinto Sant'Anna
Orientador


Prof. Msc. Guilherme Farias Cunha


Dra. Schirlene Chegatti

FLORIANÓPOLIS, (SC)
FEVEREIRO/2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela vida.

Agradeço aos meus pais, Manfredo Siegle e Hariet Siegle, pela educação e suporte total sempre.

Agradeço à minha família, pelo incessante apoio dado durante esta e todas outras etapas da vida.

Agradeço à minha namorada Camila Lopes Bello, pelo amor, companheirismo e apoio, tornando o final desta jornada mais leve.

Agradeço aos meus amigos de longa data, Igor Queluz Cruz Santos, Igor Kursancew Khairalla, Derek Voigt e Felipe Moreira Gonçalves por serem pessoas “ímpares”, que sempre se fazem presentes e são parcerias para toda a vida.

Agradeço aos meus amigos parceiros de curso e de vida, que iniciaram esta jornada conjunta na mesma sala e que nunca mediram esforços para que o objetivo final desta etapa fosse atingida conjuntamente. São eles: Leonardo Rhoden Rech, Guilherme Freccia Silvestrin, Murillo Turnes Rosa e Luiz Paulo dos Santos Campos.

Agradeço à indústria objeto do estudo, na pessoa da Schirlene Chegatti, por “abrir as portas” e apoiar a realização do trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Fernando Soares Pinto Sant’Anna, pela atenção, pelo conhecimento e pelo tempo despendido durante o período de orientação.

Agradeço ao técnico responsável pela ETEI, Antônio Carlos Pereira pelo constante suporte técnico e de informações relacionadas à operação da estação estudo de caso. Agradeço aos operadores da estação, Gilberto Mateus, Clair Roque Muniz e Fábio Germano da Silva, por sempre estarem à disposição e auxiliando durante as visitas técnicas.

Agradeço a todos professores que fizeram parte de minha formação.

Finalizando, agradeço a todos que de modo mais ou menos marcante passaram por minha vida nesta etapa, deixando suas marcas e suas lembranças, acrescentando experiências profissionais ou pessoais.

RESUMO

A necessidade da indústria em se responsabilizar pelo tratamento dos seus efluentes gerados, em função de uma maior conscientização ambiental, das questões legais e da imagem da empresa perante o mercado competitivo, ampliou o foco sobre as questões ambientais inerentes à indústria. Neste sentido, o tratamento de efluentes industriais tornou-se uma obrigação para as indústrias geradoras, sendo premissa básica para aquelas que buscam alcançar certificações de qualidade ambiental dos seus processos. Assim, o presente trabalho objetiva o levantamento dos custos globais envolvidos no processo de tratamento e a indicação de medidas de otimização de custos operacionais de uma estação de tratamento de efluentes industriais de uma indústria de peças automotivas que opera com um sistema de tratamento físico-químico em conjunto com lodos ativados. A metodologia compreendeu a realização de visitas técnicas, a análise do fluxograma de tratamento, pesquisas bibliográficas, a análise e levantamento dos custos cobrindo um período de 11 meses de operação. A partir da realização da metodologia foram indicadas ações de otimização para a ETEI objeto do estudo. De modo a fomentar a interpretação dos dados compôs-se um índice global de custos operacionais de tratamento, em R\$/m³ de efluente tratado. Com base no estudo de custos e análise dos procedimentos operacionais de tratamento evidenciam-se entre as medidas de otimização indicadas: a análise para readequação da posição da unidade flotadora, investimentos em inovação, substituição de motores e equipamentos antigos, monitoramento da umidade do lodo, instalação de equipamento medidor de consumo energético na estação e a ampliação e efetivação de programas de gestão.

Palavras-chave: tratamento de efluentes industriais, ETEI, otimização, custos operacionais, indústria de peças automotivas.

ABSTRACT

The need of industries to take responsibility in the treatment of its effluents, due to higher environmental awareness, legal issues and the image of the company before the competitive market, increased its focus on environmental issues. Accordingly, the treatment of industrial effluents became an obligation of the generating industries, which is a basic premise for those intending to receive environmental quality certifications. Therefore, this work aims to assess the global costs involved in the treatment processes and in actions to optimize the operational costs of an automotive parts industry's effluent treatment station. It operates with a physicochemical treatment system and activated sludge. The methods involved a technical visit, the analysis of the treatment flowchart, bibliographic research, the analysis and setting-up of costs during eleven months of performance. Afterwards, optimization actions were designed for the effluent treatment station. In order to instigate the interpretation of the data, a global operational treatment cost indicator has been made, measuring the amount of R\$ per m³ of treated effluent. After assessing the costs and analyzing the operational treatment procedures, optimization recommendations are: analyzing the readjustment of the flotation unit position, investments in innovation, the replacement of old equipment and engines, monitoring the sludge humidity, installation of an electrical consumption meter in the station and the increase of management programs.

Keywords: effluent treatment, industrial effluent treatment station, optimization, operational costs, auto parts industry.

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO	23
2. OBJETIVOS	25
2.1. Objetivo Geral.....	25
2.2. Objetivos Específicos.....	25
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
3.1. Processos de Fabricação de Peças na Indústria Automotiva – Fundição, Pintura e Usinagem.....	26
3.2. Efluentes Gerados	28
3.3. Tratamento de Efluentes Industriais.....	29
3.3.1. Tratamento físico-químico.....	30
3.3.2. Tratamento por lodos ativados.....	31
3.3.3. Combinação do tratamento físico-químico e biológico	32
3.4. Estação de Tratamento de Efluentes Industriais	33
3.5. Eficiência Energética ETEI's.....	33
3.6. Custos Operacionais de Estações de Tratamento de Efluentes Industriais	34
4. METODOLOGIA	36
4.1. Local de Estudo.....	36
4.2. Visitas Técnicas à Indústria de Peças Automotivas Estudo de Caso	37
4.3. Levantamento de Custos Operacionais do Sistema de Tratamento.....	38
4.3.1. Custos com produtos químicos para tratamento .	38
4.3.2. Custos com produtos químicos para análises químicas Internas e custos de eletrodos de pH ...	39
4.3.3. Custos com insumos energéticos	40
4.3.4. Custos com recursos humanos necessários à operação.....	41

4.3.5.	Custos com destinação do lodo e materiais retidos nas peneiras.....	42
4.3.6.	Custos com análises laboratoriais externas.....	43
4.4.	Obtenção de um índice de custo por m ³ de efluente tratado.....	44
4.5.	Estudo para proposição de medidas de otimização..	44
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
5.1.	Caracterização da Estação de Tratamento de Efluentes Industriais da Indústria Estudo de Caso	46
5.1.1.	Estação elevatória	47
5.1.2.	Peneiras.....	48
5.1.3.	Tanque de equalização.....	49
5.1.4.	Unidade flotadora	50
5.1.5.	Unidade de pré-tratamento.....	51
5.1.6.	Compartimento para neutralização (1º Estágio do tratamento físico-químico).....	52
5.1.7.	Compartimento para floculação (2º estágio do tratamento físico-químico).....	53
5.1.8.	Compartimento para decantação (3º estágio do tratamento físico-químico).....	53
5.1.9.	Tanque pulmão	54
5.1.10.	Tanque aerado com lodos ativados.....	55
5.1.11.	Decantador biológico.....	56
5.1.12.	Calha Parshall	57
5.1.13.	Adensador de lodo	58
5.1.14.	Tanque de condicionamento do lodo	59
5.1.15.	Filtro Prensa.....	60
5.1.16.	Caçamba para armazenagem da torta de lodo..	61
5.1.17.	Dosadoras	62
5.2.	Fluxograma do Processo de Tratamento	63
5.3.	Equipamentos que Compõe a Estação	65

5.4.	Custos Operacionais.....	66
5.4.1.	Custos com produtos químicos para tratamento .	66
5.4.2.	Custos com produtos químicos para análises internas e custos de eletrodos de pH	68
5.4.3.	Custos com insumos energéticos	69
5.4.4.	Custos com recursos humanos necessários à operação.....	70
5.4.5.	Custos com destinação de lodo e materiais retidos nas peneiras.....	70
5.4.6.	Custos com análises laboratoriais externas.....	71
5.5.	Custo Operacional Total	72
5.6.	Índice Global de Custo/m ³ de Efluente Tratado.....	74
5.7.	Ações de Otimização	75
6.	CONCLUSÕES.....	79
7.	BIBLIOGRAFIA.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do processo de fundição.....	27
Figura 2 – Fluxograma tradicional do sistema de lodos ativados convencional	31
Figura 3 – Localização do município de Joinville.....	36
Figura 4 – Equipamento medidor de consumo energético IMS PowerNET PQ-600.	40
Figura 5 – Estação elevatória da ETEI objeto do estudo.....	47
Figura 6 – Tanques de armazenagem do efluente excedente.	48
Figura 7 – Peneiramento separado por tipo de efluente.	49
Figura 8 – Tanques de equalização (2 células separadas).	50
Figura 9 – Unidade flotadora.	51
Figura 10 – Unidade de pré-tratamento.....	52
Figura 11 - Vista superior do decantador lamelar.	54
Figura 12 – Tanque Pulmão para armazenamento de efluente com alto índice de turbidez ao final do tratamento físico-químico.	55
Figura 13 – Tanque aerado com lodos ativados.	56
Figura 14 – Decantador biológico.	57
Figura 15 – Calha Parshall para medição de vazão.	58
Figura 16 – Adensador de lodo.	59
Figura 17 – Tanque de condicionamento de lodo.	60
Figura 18 – Filtro Prensa para desidratação do lodo.	61
Figura 19 – Caçamba para armazenagem temporária do lodo desidratado da estação de tratamento.	62
Figura 20 – Fluxograma do processo de tratamento da indústria estudo de caso.....	64
Figura 21 – Insumos e custos.	73
Figura 22 – Custo operacional mensal total.	73
Figura 23 – Gráfico do índice de custo.	75

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Dados do município de Joinville.	37
Tabela 2 – Custos unitários dos produtos químicos para tratamento. ...	39
Tabela 3 – Consumo mensal com produtos químicos e custos totais. ...	39
Tabela 4 – Custos com análises laboratoriais internas e compra de eletrodos.	40
Tabela 5 – Categoria de consumo e custos energéticos.	41
Tabela 6 – Custos salariais com recursos humanos.	42
Tabela 7 – Custo médio mensal da destinação de material retido no peneiramento.	42
Tabela 8 – Custos da destinação do lodo gerado.	43
Tabela 9 – Custos com análises laboratoriais externas.	43
Tabela 10 – Resumo de custos totais com insumos para o tratamento dos efluentes.	44
Tabela 11 – Equipamentos operacionais consumidores de energia nas unidades de tratamento e operação.	65
Tabela 12 - Custos unitários dos produtos químicos para tratamento. ...	67
Tabela 13 – Custos operacionais com produtos químicos para tratamento.	67
Tabela 14 – Custos mensais com produtos químicos por m ³ de efluente tratado.	68
Tabela 15 – Custos com análises laboratoriais internas e compra de eletrodos medidores de pH.	69
Tabela 16 – Custos com insumos energéticos.	69
Tabela 17 – Custos com recursos humanos.	70
Tabela 18 – Custos com destinação de material retido nas peneiras.	71
Tabela 19 – Custos com destinação do lodo.	71
Tabela 20 – Custos com análises laboratoriais externas.	72
Tabela 21 – Custos operacionais totais.	72
Tabela 22 – Índice Global de Custos.	74

1. INTRODUÇÃO

A atividade industrial é geradora de um significativo volume de efluentes. Estes efluentes, resultado da utilização da água e outros fluidos no processo industrial, possuem grande potencial de impactos ao meio ambiente, quando não tratados. Neste cenário enquadra-se a indústria de peças automotivas, foco do presente estudo, responsável por gerar quantidades significativas de efluentes, principalmente oriundos do processo de pintura das peças. De modo a garantir a integridade ambiental e a necessidade da adequação das atividades industriais respeitando a legislação de lançamento de efluentes (CONAMA 357, revogada pela CONAMA 430), faz-se necessário o tratamento dos mesmos em uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI).

Todo processo de tratamento onera a indústria com custos operacionais, além da implantação do sistema. Estações de Tratamento de Efluentes Industriais mal operadas acarretam custos de operação maiores. Deste modo, o estudo de custos operacionais de uma estação de tratamento e os processos de otimização possíveis no processo são de justificada análise.

Entretanto, a operação de uma estação de tratamento de efluentes industriais é algo que necessita ser analisado sob uma complexidade maior do que simplesmente materiais utilizados no processo. Questões de fornecimento energético, equipamentos utilizados para a operação e outras demandas necessárias devem ser foco da análise de um procedimento operacional de uma ETEI. O conhecimento dos processos operacionais e os custos envolvidos no sistema permitem à indústria saber onde está sendo investido o seu recurso com o tratamento do seu efluente e poder assim gerenciar otimizações em seu sistema de tratamento.

Além disto, a análise do valor investido por metro cúbico de efluente tratado é um indicador de interesse para o meio industrial, sendo um parâmetro que permite análises comparativas com outros processos de tratamento e permite à indústria gerenciar seus gastos de modo mais sustentável. Assim, a gestão correta do processo operacional de tratamento de uma ETEI permite à indústria otimizar seus investimentos, garantindo a qualidade do efluente tratado e a manutenção de um fluxo de caixa estável em relação à responsabilidade de tratamento do seu efluente gerado.

Portanto, o presente trabalho apresenta uma análise de custos operacionais globais envolvidos no tratamento dos efluentes industriais em uma ETEI de uma indústria de peças automotivas, propondo medidas de otimização de custos e processos operacionais.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho possui como objetivo propor soluções de otimização de custos operacionais de uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais, de uma indústria fabricante de peças automotivas, operando com sistema de tratamento físico-químico em conjunto com lodos ativados através do diagnóstico e análise do sistema.

2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- ✓ Análise de cada etapa do processo de tratamento da ETEI da indústria de peças automotivas em relação à equipamentos, produtos químicos, operadores e demanda de energia;
- ✓ Levantar custos operacionais da ETEI em estudo;
- ✓ Obter um índice de custo operacional de tratamento por m³ de efluente tratado na estação estudo de caso de uma indústria fabricante de peças automotivas.
- ✓ Proposição de medidas de otimização que reduzam o custo operacional.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Processos de Fabricação de Peças na Indústria Automotiva – Fundição, Pintura e Usinagem

Na última década a indústria automotiva mundial vem promovendo pesadas estratégias de expansão internacional, baseadas na reestruturação de seu modo de produção e da divisão internacional da produção e do consumo, diretamente relacionadas ao fenômeno chamado de globalização e ao fluxo recente de investimentos diretos estrangeiros no Brasil e em outros países da América Latina (GUEDES & FARIA, 2002).

Um processo bastante utilizado nas rotinas industriais do setor fabricante de peças automotivas é o processo de fundição. Duas etapas básicas compõem o processo de fundição: moldagem e fusão. A combinação dessas duas etapas gera inúmeras variações no processo. Além disso, diversos tipos de metais podem ser fundidos (CAMPOS & DAVIES, 1978; CHIAVERINI, 1986). De acordo com Kanicki (1988) os benefícios de um componente fundido estão diretamente relacionados à versatilidade inerente aos processos de fundição.

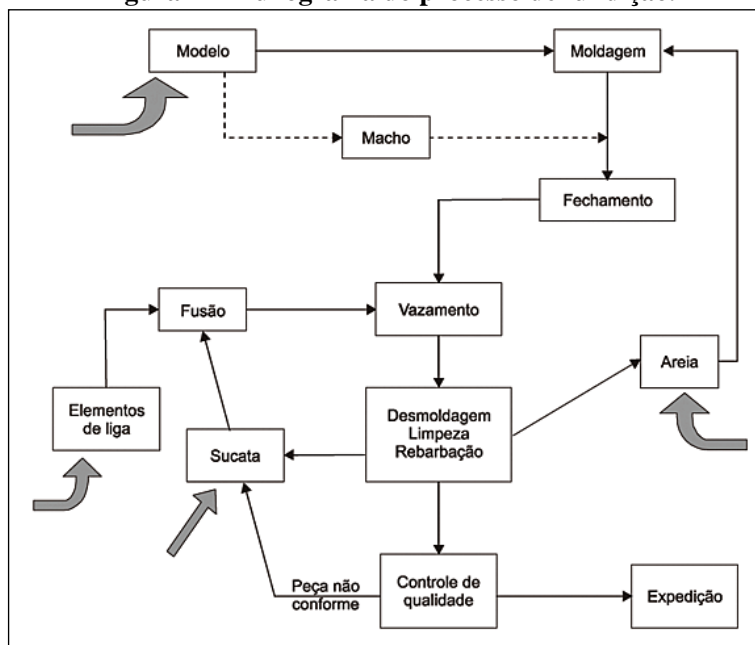
O conhecimento da fundição de metais cresceu devido a experiências de como melhor fazer os moldes e verter metais, que foi passado de geração a geração, e aperfeiçoada continuamente, sendo que hoje esta prática é um elemento essencial para a qualidade das atividades de fundição (CHEGATTI, 2004).

A fundição emprega nos seus processos modelos, moldes e machos que promovem às peças fundidas a sua conformação de acordo com as etapas existentes de moldagem, fusão e acabamento. (CHEGATTI, 2004).

A diversidade no uso de metais fundidos é resultado das vantagens funcionais e benefícios econômicos que a indústria de fundição oferece, comparada a outros métodos de conformação de metais (SILVA & MORABITO, 2004).

A Figura 1 apresenta o fluxograma do processo de fundição segundo Morabito e Silva (2004).

Figura 1 – Fluxograma do processo de fundição.



Fonte: SILVA & MORABITO, 2004

Vale ressaltar que para a indústria estudo de caso do presente trabalho a peça fundida ao final do seu processo de fundição é encaminhada à pintura e usinagem.

A pintura pode ser definida como toda composição aplicada em forma líquida ou pastosa, para formar uma película aderente à superfície metálica e mesmo não metálica que, ao sofrer um posterior endurecimento, forma um revestimento sólido capaz de proteger os materiais contra os diversos meios corrosivos. A garantia de qualidade da pintura industrial em função de um meio corrosivo esta alicerçada nos seguintes parâmetros: do sistema de preparação da superfície, da composição das tintas, do próprio processo de pintura adotado, com observância de etapas, tempo de alternância das aplicações, equipamentos adequados e outros cuidados (NUNES, N. V., 1990).

A indústria estudo de caso analisada utiliza de um processo de pintura denominado Pintura Eletroforética – KTL, sigla em alemão que traduzida significa eletrodeposição catódica.

Segundo Villas (2006), a eletrodeposição de tintas é um processo em que se mantém o mesmo princípio da imersão simples. As tintas usadas possuem, porém, uma formulação especial que permite sua polarização. Usando esta propriedade, a peça é ligada ao polo negativo dos retificadores de corrente contínua, estabelecendo-se, assim, entre a peça e a tinta onde ela está mergulhada, uma diferença de potencial, de modo que os compostos orgânicos com carga positiva presentes na formulação sejam atraídos para o polo negativo.

Após a pintura as peças automotivas seguem para a usinagem. Ferraresi (1970) afirma que “como operações de usinagem entendemos aquelas que, ao conferir à peça a forma, ou as dimensões ou o acabamento, ou qualquer combinação destes três itens, produzem cavaco”

É difícil citar algum produto que não requeira, direta ou indiretamente, o uso de uma operação de usinagem em algum momento de sua manufatura (WALKER, 2000). A grande utilização dos processos de usinagem se deve principalmente à variedade de geometrias possíveis de serem usinadas com alto grau de precisão dimensional e acabamento superficial, e ao fato de não haver alteração nas propriedades do material. Estas características fazem com que, na grande maioria dos casos, os processos de usinagem não possam ser substituídos por nenhum outro processo de fabricação, sendo muitas vezes usados com o intuito de prover uma melhora do acabamento superficial ou tolerância dimensional do produto manufaturado por outros processos (AMORIM, 2003).

3.2. Efluentes Gerados

De acordo com Neves (2005), que também realizou um estudo de caso em uma indústria do setor de fabricação de peças automotivas, os efluentes líquidos industriais provêm das cabines de pintura, tratamento de superfície (cromagem), cabine de lavagem de tanques e utensílios com óleo, desengraxantes das lavadoras de peças, emulsão oleosa das máquinas de usinagem e óleos integrais da bancada de testes.

Com o rápido desenvolvimento de indústrias, tais como as do setor metal-mecânico, mineração, indústrias de fertilizantes, curtumes, baterias, indústrias de papel, pesticidas entre outras, efluentes com metais pesados são direta ou indiretamente lançados no meio ambiente, principalmente em países em desenvolvimento. Ao contrário de contaminantes orgânicos, metais pesados não são biodegradáveis e tendem a acumular-se em organismos vivos. Muitos íons de metais

pesados são conhecidos por serem tóxicos ou carcinogênicos. Metais pesados tóxicos de particular interesse no tratamento de águas residuais industriais incluem o cobre, o zinco, o níquel, o mercúrio, o cádmio, o chumbo e o cromo (FU & WANG, 2011).

Geralmente, os efluentes da indústria metal-mecânica possuem altas concentrações de metais dissolvidos (LE MOS; SANTOS, 2007).

A maioria dos processos de usinagem é realizada utilizando os fluidos de corte como emulsões (proporções de fluido de corte e água, de acordo com a necessidade do processo) (QUEISSADA, D. D.; SILVA, F. T.; PAIVA, T.C.B., 2011). Os metais comumente encontrados neste tipo de efluente são: zinco, cádmio, manganês, chumbo, entre outros (FUNGARO et al., 2005; NASCIMENTO *et al.*, 2006).

O efluente exclusivamente sanitário gerado na indústria é composto em sua maior parte, de excrementos humanos líquidos e sólidos, produtos diversos de limpeza, resíduos alimentícios, produtos desinfetantes e pesticidas (VON SPERLING, 1996).

3.3. Tratamento de Efluentes Industriais

O tratamento de efluentes vem a ser um assunto de grande importância e revela grandes benefícios ao redor do mundo. Foi declarado como uma das necessidades urgentes para enfrentar o problema da poluição de recursos hídricos e uma solução para escassez de água, fornecendo diferentes possibilidades de água de reuso (TOZE, 2005).

De acordo com Patoine (1997) um tratamento de efluente adequado exige rigoroso controle do sistema utilizado, entendimento sobre a influência dos compostos tóxicos no processo de depuração e quão eficiente é o sistema para remoção da carga tóxica, a qual, muitas vezes, é medida pela redução de DQO (demanda química de oxigênio), DBO (demanda bioquímica de oxigênio), toxicidade, ou outro composto cuja remoção é indispensável para disposição final.

Diversas técnicas podem ser utilizadas para retirar metais de efluentes, tornando os mesmos adequados para o lançamento em cursos d'água (PEREIRA NETO et al., 2008). O tratamento mais utilizado para a remoção de íons metálicos (IM) em efluentes da indústria metal-mecânica é a precipitação química, pois trata-se de um método de baixo custo e fácil execução (KURNIAWAN et al., 2006; MATLOCK et al., 2002; ZHOU et al., 1999).

3.3.1. Tratamento físico-químico

Os processos físicos e químicos estão inter-relacionados, sendo geralmente chamados de físico-químicos. Os processos físicos são processos de tratamento de águas residuárias em que se aplicam fenômenos de natureza física, tais como: gradeamento, peneiramento, sedimentação, floculação, decantação, filtração, osmose reversa, resfriamento, etc. Os processos químicos são processos de tratamento de águas residuárias em que são conseguidos através de aplicação de produtos químicos ou de reações e interações químicas, tais como: coagulação, correção de pH (neutralização), , precipitação, oxidação, redução, adsorção, troca iônica, eletrodialise, desinfecção, etc (NUNES, J. A., 2001).

Os processos de tratamento mais utilizados para este tipo de efluente são: neutralização, filtração e centrifugação, precipitação química, oxidação ou redução química, coagulação/floculação e sedimentação/flotação, separação por membranas, troca iônica, ozonização, separação térmica e *stripping* ou extração.

As partículas coloidais presentes nos efluentes industriais numa faixa de pH entre 5 e 10, geralmente, são carregadas negativamente. Estas cargas negativas atraem os íons positivos dissolvidos na água formando uma camada com predominância de cargas positivas em volta das partículas, ou seja, formando uma camada compacta. A coagulação corresponde à desestabilização da dispersão coloidal, obtida por redução das forças de repulsão entre as partículas coloidais, por meio da adição de produtos químicos seguido por agitação com o intuito de homogeneizar a mistura. A floculação, que ocorre quase que simultaneamente com a coagulação, é a aglomeração de partículas coaguladas e de matéria em suspensão na água, formando conjuntos maiores e mais densos, denominados “flocos” (TAMBOSI, 2005).

Existe também a precipitação de efluentes sem ocorrer a coagulação-floculação. Apenas elevando o pH é possível precipitar metais pesados na forma de hidróxidos ou carbonatos, fósforo na forma de fosfato, etc. Quando se usa cal, o produto formado é o carbonato de cálcio que atua como coagulante, conseguindo precipitar certas proteínas, lignina, metais pesados, fósforo, etc. Sempre é necessário pesquisar o pH ótimo em que a precipitação é máxima (NUNES, J.A., 2001)

Os sistemas físico-químicos, como tratamento preliminar do efluente, permitem um maior controle devido ao ajuste das dosagens, embora ocorra uma geração maior de lodo (VON SPERLING, 1996).

Assim, pode-se afirmar que este tipo de processo permite um controle operacional de tratamento maior, influenciando além da qualidade do tratamento nos custos operacionais.

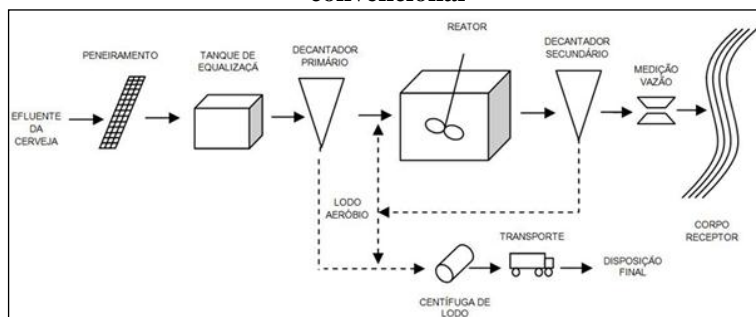
Outro aspecto importante dos métodos de tratamento que empregam processos físico-químicos se refere aos custos. Esses métodos, em comparação com os que empregam processos biológicos, necessitam de menor investimento inicial, embora usualmente apresentem maior custo operacional (DE HAAS, *et al.*, 2000). Tal afirmação do autor relaciona-se aos insumos necessários para realizar o tratamento do efluente, que acarretam em uma oneração maior à indústria geradora do efluente.

3.3.2. Tratamento por lodos ativados

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado, em nível mundial, para o tratamento de despejos domésticos e industriais, em situações em que são necessários uma elevada qualidade do efluente e reduzidos requisitos de área. No entanto, o sistema de lodos ativados inclui um índice de mecanização superior ao de outros sistemas de tratamento, implicando em uma operação mais sofisticada e em maiores consumos de energia elétrica (VON SPERLING, 1997).

A Figura 2 apresenta o fluxograma de um típico sistema de tratamento por lodos ativados convencional.

Figura 2 – Fluxograma tradicional do sistema de lodos ativados convencional



Fonte: Von Sperling, 1997.

No sistema convencional, para se economizar energia para a aeração e reduzir o volume do reator biológico, parte da matéria orgânica (em suspensão, sedimentável) dos efluentes é retirada antes do

tanque de aeração, através do decantador primário (VON SPERLING, 1997).

O processo de lodos ativados possui como principais qualidades: a rápida remoção da matéria orgânica, quando comparado a reatores anaeróbios; a ausência de odor, causado pela liberação de ácido sulfídrico; e o grande número de estudos, tornando-o uma técnica bem conhecida (RITTMANN; McCARTY, 2001).

De acordo com Peralta-Zamora *et al.* (1996), o processo consiste, basicamente, na agitação dos efluentes na presença de microrganismos e oxigênio atmosférico durante o tempo necessário para metabolizar e flocular uma grande parte da matéria orgânica.

3.3.3. Combinação do tratamento físico-químico e biológico

Os sistemas de tratamentos de efluentes industriais, em sua maioria, são constituídos de processos físico-químicos seguidos de tratamentos biológicos. Essa integração de processos, geralmente, aperfeiçoa o sistema de tratamento de forma geral. Porém, para isso, é importante o uso de micro-organismos que não sofram nenhum tipo de inibição em relação aos poluentes encontrados no efluente (QUEISSADA, D. D.; SILVA, F. T.; PAIVA, T.C.B., 2011).

Os sistemas físico-químicos envolvendo coagulação-floculação, quando únicos, removem parcialmente a carga orgânica, sendo às vezes necessário tratamento complementar, objetivando atingir a melhor eficiência possível. Quando em uma indústria existe geração de efluentes de diversos setores, com características diferentes, é muito vantajoso segregar e remover substâncias se, em alguns dos setores, houver: substâncias tóxicas (sulfetos, metais pesados, etc.), substâncias recicláveis (gordura, óleo, etc.), outras substâncias incompatíveis com o tratamento subsequente. Após a remoção destas substâncias, faz-se a reunião dos efluentes para tratamento (equalização), objetivando a uniformidade de vazão e diversos parâmetros, como: pH, temperatura, DBO, DQO, etc (NUNES, J. A., 2001).

O caso mais comum é associar o tratamento físico-químico por coagulação-floculação, objetivando remover sólidos em suspensão, à montante do tratamento biológico (NUNES, J., A., 2001)

O caso citado pelo autor Nunes (2001) é exemplo do que ocorre no processo de tratamento da indústria em estudo. Um tratamento combinado de um processo físico-químico à montante de um processo biológico.

3.4. Estação de Tratamento de Efluentes Industriais

A estação de tratamento de efluentes industriais é o local onde ocorrem processos físicos, químicos ou biológicos, ou os três sequencialmente, de modo a garantir uma eficiência de tratamento, com a saída de um efluente com características menos poluidoras que o despejo bruto (TCHOBANOGLOUS *et al.*, 2003).

De acordo com Ferreira (2007) costuma-se elaborar o projeto de Estação de Efluentes a partir da caracterização do efluente industrial. Com base nisto e outras informações adicionais, como área disponível, legislação local, custos entre outros a equipe projetista escolhe e dimensiona os equipamentos que melhor atenderão as necessidades do solicitante.

As estações de Tratamento de Efluentes tradicionais costumam ser divididas em quatro etapas: tratamento preliminar, tratamento secundário, tratamento terciário, ou seja, avançado (NUNES, J. A., 2001).

3.5. Eficiência Energética ETEI's

O consumo de energia no mundo cresce cerca de 2% ao ano e deverá dobrar em 30 anos se prosseguirem as tendências atuais. O crescimento não é uniforme: nos países industrializados é de apenas cerca de 1% ao ano, mas chega a 4% ao ano nos países em desenvolvimento que estão crescendo rapidamente e que vão dominar o cenário mundial no que se refere ao consumo de energia dentro de 15 anos (GOLDEMBERG, 2000).

A energia elétrica é um gasto, no ato da aquisição, que passa imediatamente para custo (por sua utilização) sem transitar pela fase de investimento (MARTINS, 2003).

Em relação à eficiência energética em estações de tratamento de efluentes industriais, Rojas (2012) afirma que a principal preocupação do tratamento de efluentes industriais sempre foi para atender os padrões de qualidade do efluente tratado, a fim de manter confiança pública. Assim, os sistemas de tratamento de efluentes industriais raramente são projetados visando à eficiência energética.

Até o momento, especialistas em tratamento de efluentes tem se centrado na modelagem do tratamento de efluentes, enquanto aspectos

energéticos tenham recebido muito pouca atenção (DESCOINS *et al.*, 2010).

3.6. Custos Operacionais de Estações de Tratamento de Efluentes Industriais

Custos são gastos relativos a um bem ou serviço utilizado na produção de outros bens ou serviços. O custo é também um gasto, só que reconhecido como tal, isto é, como custo, no momento da utilização dos fatores de produção (bens e serviços), para a fabricação de um produto ou execução de um serviço (MARTINS, 2003).

A necessidade de promover e aumentar a eficiência nas tecnologias de tratamento de águas residuárias é globalmente aceita. A literatura mostra que várias contribuições vem sendo feitas nesta área ao longo dos últimos anos. Contudo, faz-se necessário lembrar que os custos associados necessitam ser conhecidos, de modo a determinar a real viabilidade de determinada tecnologia (HIDALGO, IRUSTA, FATTA, 2006; ONKAL, DEMIR, 2006 *Apud* HERNANDEZ-SANCHO, MOLINOS-SENANTE, SALA GARRIDO, 2011).

Certamente não é fácil alcançar um conhecimento exaustivo dos custos operacionais associados a cada processo de tratamento, bem como tabelas comparativas. Assim, uma análise de custos detalhada por processo é requerida para a instalação de estruturas de tratamento, necessitando-se realizar previsões assertivas de custos operacionais futuros (HERNANDEZ-SANCHO, MOLINOS-SENANTE, SALA GARRIDO, 2011).

Geralmente em estudos e na literatura técnica são comparadas eficiências de diferentes processos, de variadas operações. No entanto, poucos estudos incluem fatores econômicos, como custos operacionais, os quais ajudam no cálculo dos custos das diferentes tecnologias possíveis de serem empregadas no contexto industrial (DURÁN *et al.*, 2012).

Custos de construção e de operação dependem do nível de qualidade do efluente requerido (o qual é função do nível do tratamento), onde elevados níveis de tratamento resultam em custos elevados de ambos componentes. Embora a obviedade da afirmação, um estudo mais aprofundado revela que custos de construção e custos de operação possuem diferentes sensibilidades de variância conforme os níveis de tratamento requeridos. Verifica-se que os custos de operação e manutenção de um sistema sofrem variância maior conforme o nível de

tratamento a ser atingido em relação aos custos de implantação de um sistema (FRIEDLER, PISANTY, 2006).

As tecnologias de tratamento de água evoluíram consideravelmente, a ponto de se poder afirmar que, teoricamente, água de qualquer qualidade pode ser tratada. Porém os riscos e custos do tratamento de águas muito contaminadas podem ser extremamente elevados (BERNARDO, 2005).

Analisando sob o aspecto da operação financeira, após os encargos trabalhistas, a eletricidade é o maior custo operacional associado ao tratamento de efluentes industriais, com 25 a 40% do total (M/J INDUSTRIAL SOLUTIONS, 2003).

Os custos relativos à operação e manutenção da estação de tratamento físico-químico por coagulação-floculação são maiores que os dos processos biológicos, quando o sistema é único, e o tratamento é a nível secundário. Os custos dependem muito do porte do empreendimento. Em indústrias maiores, o custo em dólares por metro cúbico de efluente tratado cai consideravelmente (NUNES, J. A., 2001).

Rígido controle na estação, através de ensaios de floculação diários, visando determinar dosagens ótimas de floculação e redução do horário diário de tratamento, poderão diminuir os custos operacionais.

Portanto, os elevados custos operacionais, o inadequado manejo dos efluentes e a carência de informações acerca do passivo ambiental consequência deste manejo, em muitos casos, levam gestores a considerar que os custos oriundos de sistemas de tratamento de efluentes não são justificáveis.

4. METODOLOGIA

4.1. Local de Estudo

A indústria estudo de caso do ramo da fabricação de peças automotivas, cuja estação de tratamento de efluentes industriais foi analisada no presente estudo encontra-se em um pólo de desenvolvimento industrial do norte do estado de Santa Catarina, na cidade de Joinville.

A Figura 3 apresenta a localização da cidade de Joinville.

Figura 3 – Localização do município de Joinville.



Fonte: Joinville Cidade em dados 2010/2011, Pref. Mun. de Joinville.

A indústria estudo de caso situa-se em uma rodovia de acesso à BR 101, garantindo a facilidade no escoamento dos produtos fabricados e toda a logística envolvida para obtenção de insumos e expedição de produtos acabados.

A Tabela 1 apresenta dados gerais da cidade onde a indústria estudo de caso encontra-se alocada.

Tabela 1 – Dados do município de Joinville.

Dados do Município de Joinville	
População (hab.) ¹	515.288
Área (km ²) ²	1.147
Precipitação média anual (mm) ³	2.284
Indústrias de Grande Porte ⁴	20

Por questões de preservação de identidade, tendo em vista a obtenção de dados confidenciais da empresa, seu nome foi omitido neste estudo.

4.2. Visitas Técnicas à Indústria de Peças Automotivas Estudo de Caso

De modo a permitir uma análise minuciosa de todas as etapas do processo de tratamento da estação de tratamento de efluentes industriais da indústria em estudo realizou-se o acompanhamento operacional da mesma durante dois dias no turno diurno no mês de novembro do ano de 2012.

A partir das visitas técnicas a rotina operacional pode ser acompanhada, incluindo situações adversas, como o aumento excessivo de vazão, ocasionada pelo excesso de precipitação no dia da visita técnica.

Além do procedimento operacional, foram levantados equipamentos necessários à operação da ETEI (consumidores ou não de energia), materiais químicos utilizados no processo, materiais utilizados em laboratório, análises químicas necessárias e recursos humanos que garantem a operação da estação.

¹ IBGE, 2010.

² IBGE, 2010.

³ EPAGRI/CIRAM, 2010. Série histórica 1998-2010.

⁴ Indústrias com mais de 1000 funcionários. Prefeitura Municipal de Joinville. Joinville Cidade em Dados, 2011.

Grande parte das informações foi obtida através da vivência operacional de rotina, a análise da estrutura necessária ao funcionamento da estação e o contato com os operadores, o responsável técnico pelo funcionamento da estação e a especialista ambiental da indústria.

Além disso, o acesso ao banco de dados da indústria estudo de caso, no que tange a dados necessários ao pleno desenvolvimento do trabalho, foi liberado sem restrições.

4.3. Levantamento de Custos Operacionais do Sistema de Tratamento

O levantamento de custos operacionais foi realizado a partir do acesso a informações fornecidas pela indústria estudo de caso acerca dos produtos utilizados, das demandas de energia requeridas e da necessidade de recursos humanos para a adequada operação da estação de tratamento de efluentes em estudo.

Em casos de falta de dados sobre algum insumo necessário à operação (no caso energia elétrica) foi realizada uma pesquisa de mercado a fim de definir valor de determinado insumo necessário à operação da estação.

Os custos foram divididos conforme os tópicos posteriores de modo a privilegiar uma clareza de informações numéricas de acordo com o tipo de necessidade para operação da estação. Especificidades de cada tipo de custo serão também detalhadas nos subitens a seguir.

4.3.1. Custos com produtos químicos para tratamento

Os custos com produtos químicos foram obtidos em consulta ao banco de dados da indústria estudo de caso.

Para uma efetiva análise desses, tomando-se em consideração a variação da quantidade e qualidade do efluente tratado e, por consequência, a variação da quantidade de produtos químicos consumidos, foi avaliada uma série temporal de dados de custos com produtos químicos. Esta se iniciou em janeiro de 2012 e se estendeu até novembro de 2012.

Os custos serão apresentados no formato de tabela, conforme a Tabela 2 e a Tabela 3.

Tabela 2 – Custos unitários dos produtos químicos para tratamento.

Produto Químico	Embalagem	R\$/Kg
Produto 1		
Produto 2		
Produto 3		
Produto 4		
Produto 5		

Tabela 3 – Consumo mensal com produtos químicos e custos totais.

Mês/2012	Consumo de Produtos Químico (Kg)					Custo Total (R\$)	Custo Mensal Médio (R\$)
	Produto 1	Produto 2	Produto 3	Produto 4	Produto 5		
Jan							
Fev							
Mar							
Abr							
Mai							
Jun							
Jul							
Ago							
Set							
Out							
Nov							

4.3.2. Custos com produtos químicos para análises químicas internas e custos de eletrodos de pH

O custo com os produtos para análises químicas é um valor obtido em acesso ao banco de dados da indústria estudo de caso. O valor obtido foi limitado a 1 mês de compras, mas demonstra um valor aproximado despendido mensalmente e que assim, representa a realidade.

Outro item importante são os eletrodos medidores de pH. No processo de tratamento existem no total 6 eletrodos, sendo que 5 destes são trocados a cada 3 anos e 1 é trocado a cada 1,5 anos (eletrodo medidor de pH no ponto de lançamento da cal). Será assim calculado um valor mensal médio gasto com os eletrodos de pH, para que se possa realizar um índice de custo por m³ de efluente tratado.

Assim, estes custos citados serão apresentados conforme Tabela

4.

Tabela 4 – Custos com análises laboratoriais internas e compra de eletrodos.

Análises Laboratoriais Internas e Compra de Eletrodos		
-	Produtos para Análises Laboratoriais Internas	Eletrodos de pH
Custo Unitário (R\$)		
Custo Mensal (R\$)		

4.3.3. Custos com insumos energéticos

Os custos com insumos energéticos foram um fator de complexidade maior no que tange à obtenção de dados precisos de demanda energética consumida.

Tal fator deve-se ao fato de a estação de tratamento objeto do estudo não estar eletricamente setorizada na indústria estudo de caso. Isso significa que a medição de energia da estação não é descentralizada, estando vinculada ao consumo energético do restante da planta da indústria.

Como alternativa inicial a este fator limitante pesquisaram-se equipamentos que realizam a medição localizada de consumo energético. Neste caso, um equipamento pesquisado foi o analisador de energia PowerNET PQ-600 da IMS. A Figura 4 mostra o equipamento.

Figura 4 – Equipamento medidor de consumo energético IMS PowerNET PQ-600.



Fonte: Catálogo IMS.

No entanto, por limitações de recursos financeiros para realização do trabalho, tendo em vista a aquisição ou aluguel deste equipamento, bem como a instalação do mesmo por um profissional especializado, tal método foi descartado.

De outro modo, em contato com o setor responsável pela medição de energia da indústria estudo de caso, que através de conhecimento de dados de consumos energéticos totais e os consumos médios da indústria, estimou baseado em um histórico de dados um valor de consumo energético para a estação de 20.000 Kwh/mês.

Assim, a partir da tensão de alimentação da indústria (69kv), obteve-se o tipo de tarifa em que se enquadra a indústria estudo de caso juntamente à tabela de tarifas e categorias de consumo disponibilizadas no site da CELESC. Assim, o consumo energético médio mensal foi calculado como demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Categoria de consumo e custos energéticos.

Energia Elétrica	
Categoria Cliente	
Tipo	
Tarifa	
Valor (R\$) do Kwh em Horário Ponta (18:00h-21:30h)	
Valor (R\$) do Kwh em Horário Fora Ponta	
Consumo Mensal Médio Estimado (Kwh)	
Consumo em Horário de Ponta (Kwh)	
Consumo em Horário Fora de Ponta (Kwh)	
Custo Mensal Médio (R\$)	

4.3.4. Custos com recursos humanos necessários à operação

Os custos relacionados à mão de obra necessária para a correta e efetiva operação da estação foram obtidos através do acesso aos dados fornecidos pela indústria objeto de estudo.

Deve ser ressaltado que este estudo não busca, por via alguma, indicar reduções de custo no que tange às questões salariais. Os

profissionais envolvidos no processo e seu trabalho são de extrema valia e importância para a efetivação do processo de tratamento, tornando sua valorização necessária.

Neste estudo, os custos com recursos humanos possuem objetivo de compor o custo global de tratamento, de modo a nortear tomadas de decisões da indústria.

Os custos com mão de obra necessária à operação da ETEI serão apresentados conforme a Tabela 6. Os valores são referentes ao mesmo período em que foram analisados os outros custos do estudo.

Tabela 6 – Custos salariais com recursos humanos.

Funções	Custos Salariais Mensais Totais (R\$)
Técnico Responsável e 3 Operadores	

4.3.5. Custos com destinação do lodo e materiais retidos nas peneiras

Os custos com destinação do lodo e materiais retidos nas peneiras foram obtidos a partir do acesso a dados fornecidos pela indústria estudo de caso.

O valor fornecido para destinação de materiais retidos nas peneiras é um valor mensal médio calculado com base em dados de um ano.

O valor fornecido para a destinação do lodo é por tonelada. Entretanto, como é variável a quantidade mensal de efluente tratado e consequentemente a quantia de lodo gerada, foi adotado um índice de lodo gerado (em Kg/m³ de efluente tratado), conhecido pela indústria estudo de caso. Assim, analisou-se a quantidade de lodo gerada por mês, em conformidade com a quantidade de efluentes tratados.

Os referidos custos serão apresentados em acordo com a Tabela 7 e a Tabela 8.

Tabela 7 – Custo médio mensal da destinação de material retido no peneiramento.

Custo Médio Mensal	
Serviço	R\$
Destinação do material retido nas peneiras	

Tabela 8 – Custos da destinação do lodo gerado.

Mês	Quantidade de efluente Tratado (m³)	Quantidade de Lodo Gerado	Custo (R\$)	Custo Médio Mensal (R\$)
Jan				
Fev				
Mar				
Abr				
Mai				
Jun				
Jul				
Ago				
Set				
Out				
Nov				

4.3.6. Custos com análises laboratoriais externas

Para o atendimento à legislação vigente de padrões de lançamento de efluentes (CONAMA 430/2011; Lei nº 14675/2009; Portaria FATMA nº17/2002) é necessária a realização de análises laboratoriais que comprovem a qualidade do efluente. Essas análises são realizadas por um laboratório especializado contratado pela indústria estudo de caso.

São realizadas análises mensais, trimestrais e semestrais. As análises mensais contemplam menor número de parâmetros que as trimestrais e por sua vez menor que as semestrais. Esse fato influencia nos custos das análises.

Deste modo, em um ano são realizadas 8 análises mensais, 2 análises trimestrais e 2 análises semestrais.

Os custos com as análises externas serão apresentados conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Custos com análises laboratoriais externas.

Análises Laboratoriais Externas			
Tipo	Mensal	Trimestral	Semestral
Custo (R\$)			
Custo Mensal Médio (R\$)			

4.4. Obtenção de um índice de custo por m³ de efluente tratado

A partir do levantamento dos custos operacionais envolvidos na ETEI em estudo, conforme descrito no item 4.3. e a quantidade mensal de efluentes tratados calculou-se um índice de custo por m³ de efluente tratado para cada mês durante o período de 11 meses analisado. Ao final calculou-se uma média dos índices obtidos, sendo este o índice de custo médio durante o período analisado. Tal metodologia evita a propagação de erros, trabalhando com valores mensais para posteriormente ser realizada uma média baseada em uma série maior de dados.

Tal índice é de relevância para que a indústria possa gerenciar os custos e investimentos realizados no processo de tratamento de seus efluentes, norteados tomadas de decisão.

O período de análise dos dados foi de 11 meses (Janeiro de 2012 a Novembro de 2012).

A metodologia de cálculo e apresentação dos dados será apresentada conforme a Tabela 10.

Tabela 10 – Resumo de custos totais com insumos para o tratamento dos efluentes.

Meses/2012	Custo Mensal Total (R\$)	Quantidade de Efluente Tratado (m ³)	Índice de Custo Mensal (R\$/m ³ de Efluente Tratado)
Jan			
Fev			
Mar			
Abr			
Mai			
Jun			
Jul			
Ago			
Set			
Out			
Nov			
Índice de Custo Médio (R\$/m³ de efluente tratado):			

4.5. Estudo para proposição de medidas de otimização

Através de visitas técnicas na estação de tratamento da indústria estudo de caso e do acompanhamento *in loco* dos processos operacionais de rotina foi possível observar como é o funcionamento

operacional da ETEI, suas complicações em situações críticas e seus aspectos passíveis de ações de otimização.

Além da observação em campo, a pesquisa bibliográfica é de fundamental importância para a realização de um estudo que contemple propostas de melhorias nos processos.

Do mesmo modo, através de conversas com os operadores da estação de tratamento sobre as dificuldades operacionais encontradas diariamente, obteve-se a visão de quem vive e possui amplo conhecimento prático sobre os processos adotados na ETEI. Tal fator é de fundamental relevância na proposição de medidas que tornem mais eficiente o processo de tratamento.

Além disto, a análise do fluxograma processual de tratamento permitiu a visualização do processo como um todo e assim poder realizar um estudo de pontos desfavoráveis do processo.

Desta forma, foram coletadas informações, práticas e teóricas para fomentar a indicação de ações otimização de custos operacionais da estação de tratamento de efluentes industriais da indústria estudo de caso.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são os produtos dos objetivos específicos do trabalho, que na sua totalização atendem ao objetivo geral do mesmo.

A quantificação dos custos de tratamento global permite um gerenciamento efetivo de uma ETEI. Além disto, a indicação de ações de otimização visam a redução de investimentos, mantidas ou ampliadas a qualidade do efluente na saída e a qualidade dos processos operacionais.

5.1. Caracterização da Estação de Tratamento de Efluentes Industriais da Indústria Estudo de Caso

A indústria estudo de caso, objeto do presente estudo, possui uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais que foi construída no ano de 2004, projetada para o atendimento de uma demanda de vazão (horizonte de projeto) de 14,5 m³/h. Dentro deste valor, a concepção da estação foi dimensionada para suprir uma capacidade de vazão tratamento de efluentes biológicos de 6,5 m³/h e a capacidade de tratamento de efluentes industriais de 8,0 m³/h. Dentro do valor de tratamento de efluentes industriais 85% da vazão é oriunda do setor de pintura, 10% é oriundo do setor de usinagem e unidade fabricante de compressores e 5% da lavagem de carros que ocorre no pátio da indústria.

Entretanto, em função da crescente demanda de produção industrial e consequentemente do setor de pintura, a demanda de efluentes industriais tem sido maior do que a de projeto e a demanda de efluentes biológicos significativamente abaixo da capacidade projetada.

A ETEI da indústria estudo de caso possui uma estrutura de tratamento que conta com: estação elevatória, peneiras, tanque de equalização, flotadora, tanque de pré-tratamento, tanque de neutralização e floculação interligados a um decantador lamelar (do tratamento físico-químico), tanque aerado (lodos ativados), decantador biológico e calha Parshall. A parte do lodo que não é recirculada passa por uma estrutura composta de: adensador de lodo, tanque de condicionamento do lodo, filtro prensa e uma caçamba, responsável pelo envio do lodo desidratado para o aterro industrial.

A estação possui 2 pisos, térreo e superior, e conta com uma sala de controle operacional adjunta a um laboratório para análises rotineiras de qualidade do efluente. O sistema operacional da ETEI é

automatizado, facilitando e otimizando a operação da mesma pelo pessoal responsável.

5.1.1. Estação elevatória

A estação elevatória possui em sua entrada dois tanques de sucção com capacidade de 18m^3 para cada tipo de efluente (industrial ou biológico).

A Figura 5 apresenta a estação elevatória com 2 bombas helicoidais em funcionamento e 1 bomba reserva. O sistema elevatório conta com um sensor de nível para cada tanque de sucção. Em casos de vazão acima da capacidade suportada, o efluente industrial ou biológico é armazenado em 2 tanques de armazenagem do efluente excedente, conforme mostra a Figura 6. A capacidade de armazenamento do tanque de armazenagem de efluente industrial é de 10m^3 e a capacidade do tanque de armazenagem de efluente biológico é de 6m^3 .

Figura 5 – Estação elevatória da ETEI objeto do estudo.



Fonte: Autor, 2012.

Figura 6 – Tanques de armazenagem do efluente excedente.



Fonte: Autor, 2012.

5.1.2. Peneiras

O sistema de peneiramento, necessário à retirada de sólidos grosseiros do efluente é composto de 2 peneiras e opera segregadamente para cada tipo de efluente.

A Figura 7 apresenta as peneiras do tipo estáticas auto-limpante. Sua manutenção ocorre apenas para retirar o material em excesso após um período considerável de utilização. O material em excesso é armazenado em tonéis, localizados abaixo das peneiras e posteriormente destinados para aterro.

Figura 7 – Peneiramento separado por tipo de efluente.



Fonte: Autor, 2012.

5.1.3. Tanque de equalização

Os tanques de equalização seguem a lógica do tratamento e são divididos em duas células que equalizam o efluente industrial e o efluente biológico separadamente.

Cada tanque de equalização apresenta um agitador, de modo a homogeneizar o efluente, um medidor de nível ultrassônico, responsável por enviar a informação à central de controle e operação, e um eletrodo responsável pela medição de pH no interior do tanque. Todos estes equipamentos demandam energia para operação.

A Figura 8 apresenta os tanques de equalização que operam individualmente. Observa-se mais próximo à parte inferior da imagem o tanque de equalização do efluente industrial e na parte superior da foto a célula responsável pela equalização do efluente biológico.

Figura 8 – Tanques de equalização (2 células separadas).



Fonte: Autor, 2012.

5.1.4. Unidade flotadora

A ETEI da indústria estudo de caso possui uma unidade flotadora, que opera com uma pá raspadora, responsável por retirar óleos e graxas do efluente. Para que os óleos e graxas entrem em suspensão é injetado ar comprimido na unidade flotadora.

Assim, em termos estruturais, a unidade flotadora necessita energia para a ativação do motor responsável pela rotação da pá raspadora e um motor compressor de ar, responsável pela injeção de ar comprimido na unidade flotadora.

A Figura 9 apresenta a unidade flotadora da estação de tratamento, unidade por onde a totalidade do efluente oriundo da frente industrial percorre.

Figura 9 – Unidade flotadora.



Fonte: Autor, 2012.

5.1.5. Unidade de pré-tratamento

A unidade de pré-tratamento da estação de tratamento, objeto do estudo é um tanque onde o efluente de origem industrial é regularizado em se tratando de pH. Nessa etapa é injetado ácido sulfúrico no tanque, caso o pH do efluente esteja com características neutras a básicas, tendo em vista que o pH ideal para precipitação dos metais existentes no efluente é aproximadamente entre 5 e 6.

A injeção do ácido sulfúrico ocorre através de um bombeamento controlado, sendo o sistema automaticamente controlado por sensores medidores de pH na unidade de pré-tratamento. Conforme a necessidade de reduzir valores de pH, o ácido sulfúrico é liberado no tanque, estando o efluente assim com o pH adequado para os próximos processos do tratamento.

Em se tratando de estrutura, a unidade de pré-tratamento conta com um agitador, 1 sensor de nível, 1 painel indicador de pH e uma sonda de pH. Estes equipamentos demandam energia para a operação.

A Figura 10 apresenta a Unidade de Pré-Tratamento da ETEI objeto do estudo.

Figura 10 – Unidade de pré-tratamento.



Fonte: Arquivo da Indústria estudo de caso, 2005.

5.1.6. Compartimento para neutralização (1º Estágio do tratamento físico-químico)

A neutralização ocorre em uma estrutura integrada de tratamento do efluente industrial que opera em 3 estágios, sendo o primeiro a neutralização. Fazem parte desta estrutura integrada de tratamento 3 compartimentos, onde no primeiro ocorre a neutralização do efluente, no segundo a floculação e no terceiro a decantação. A neutralização do efluente ocorre a partir da injeção de cal, na medida em que o pH do efluente estiver muito ácido. Conforme descrito no item 4.3.5. o pH deve estar na faixa entre 5 e 6 para a efetividade do tratamento através da precipitação de metais. O controle do pH é realizado com sondas leitoras de pH, que enviam o dado à um painel indicador de pH. Conforme estiver a condição do pH do efluente é lançado automaticamente cal no mesmo.

Em se tratando de estrutura, esta etapa do tratamento possui 1 compartimento com 1 agitador de pás mecânico, uma sonda medidora de pH e 1 painel indicativo de pH.

5.1.7. Compartimento para floculação (2º estágio do tratamento físico-químico)

A etapa do processo em que ocorre a floculação ocorre em um compartimento adjunto à neutralização e à decantação. Nesta etapa do processo ocorre o lançamento do polímero, coagulante responsável pela precipitação dos metais, em pH adequado.

De modo a tornar a floculação mais efetiva o efluente é agitado com um agitador de pás mecânico.

Estruturalmente, a etapa de floculação é composta por um compartimento com agitador de pás mecânico e uma sonda leitora de pH, equipamentos que demandam energia para operação.

5.1.8. Compartimento para decantação (3º estágio do tratamento físico-químico)

Posteriormente à floculação, o efluente passa por um decantador lamelar, onde os flocos precipitados são decantados, sendo direcionados ao fundo do mesmo. Nesta etapa do processo não é demandada energia elétrica.

O lodo acumulado no fundo do decantador lamelar é bombeado para o adensador de lodo.

Após a etapa da decantação, o efluente (oriundo da frente industrial) tratado pelo processo físico químico é misturado ao efluente de origem biológica no interior do tanque aerado com lodos ativados.

No caso do efluente estar com alto índice de turbidez no interior do decantador, o mesmo é enviado à um tanque pulmão, retornando ao início do processo de tratamento.

A Figura 11 apresenta a vista superior do decantador lamelar, vista do piso superior da ETEI.

Figura 11 - Vista superior do decantador lamelar.



Fonte: Arquivo da Indústria estudo de caso, 2011.

5.1.9. Tanque pulmão

O tanque pulmão é uma unidade emergencial do tratamento para em casos de o efluente estar em condições de turbidez elevada, ser encaminhado novamente ao início do tratamento.

O efluente detectado visualmente com alta turbidez no 3º estágio do tratamento físico-químico é destinado ao tanque pulmão, preservando de riscos a biota existente no tanque aerado.

O tanque pulmão é um tanque que recebe este efluente denominado crítico e o encaminha novamente ao início do tratamento, sendo despejado no poço de sucção da estação elevatória para tratamento dos efluentes oriundos da frente industrial e assim, reiniciando o tratamento físico-químico.

A Figura 12 apresenta o tanque pulmão para armazenamento emergencial de efluente com alta turbidez ao final do tratamento físico-químico.

Figura 12 – Tanque Pulmão para armazenamento de efluente com alto índice de turbidez ao final do tratamento físico-químico.



Fonte: Autor, 2012.

5.1.10. Tanque aerado com lodos ativados

O tanque aerado com lodos ativados é a estrutura de maior porte na estação. Neste local, o efluente de origem industrial, tratado pelo processo físico-químico é misturado com o efluente biológico.

Esta etapa do processo é crítica, tendo em vista que o efluente tratado de origem industrial não pode possuir residual de metais pesados, pois a biota responsável pelo tratamento biológico não resiste quando em contato com os mesmos. Além disto, em um caso de morte da biota o tempo necessário para recompor a mesma e deixá-la estabilizar pode ser longo, podendo levar meses.

No interior do tanque aerado são formados flocos de microrganismos (bactérias) responsáveis pela degradação da matéria orgânica, formando uma camada de lodos denominados ativados.

A aeração do tanque é realizada por sopradores de alta potência e o ar é injetado no tanque por meio de difusores de ar comprimido.

O tanque aerado conta com uma estrutura em concreto (do tanque em si), uma sonda de medição de Sólidos Suspensos Totais (SST), uma sonda para medição de Oxigênio Dissolvido (OD), uma

sonda para medição de pH e 2 sopradores de alto desempenho, sendo 1 reserva. Todos os equipamentos citados demandam energia para operação, sendo os sopradores os responsáveis pelo maior consumo de energia.

Na saída do tanque aerado é adicionado ao efluente policloreto de alumínio, utilizado para auxiliar na remoção de Fósforo e Nitrogênio.

A Figura 13 apresenta o tanque aerado com lodos ativados da ETEI da indústria estudo de caso.

Figura 13 – Tanque aerado com lodos ativados.



Fonte: Autor, 2012.

5.1.11. Decantador biológico

O decantador biológico é a unidade da estação responsável por decantar o efluente oriundo do tanque de aeração.

Estruturalmente, o decantador biológico é de concreto e possui um motor responsável por fazer rotacionar a pá raspadora de fundo, responsável pelo direcionamento do lodo decantado ao fundo do decantador. O lodo a ser recirculado é direcionado ao tanque de equalização do efluente biológico, retornando ao tanque de aeração através de bombeamento.

O efluente tratado segue para a Calha Parshall, última etapa do processo de tratamento.

A Figura 14 apresenta o decantador biológico da estação objeto do estudo.

Figura 14 – Decantador biológico.



Fonte: Autor, 2012.

5.1.12. Calha Parshall

A Calha Parshall é o último processo do tratamento do efluente, sendo responsável pela medição da vazão de saída do efluente tratado. Tal dado é de extrema importância para garantir a correta gestão do processo de tratamento. É um valor do qual dependem muitas variáveis de análise para gestão, como custos operacionais investidos por metro cúbico de efluente tratado, quantidade de lodo gerada por metro cúbico de efluente tratado e de um modo geral qualquer outra variável que possa estar envolvida no tratamento em função da quantidade de efluente tratado.

Esta unidade do processo não demanda energia e sua estrutura é basicamente a Calha Parshall em si alocada em uma estrutura de concreto com uma caixa de passagem, sendo o efluente tratado destinado à rede pluvial adjacente à rodovia próxima e posteriormente

ligada ao corpo receptor (Rio do Braço). A Figura 15 apresenta a Calha Parshall da ETEI em estudo.

Figura 15 – Calha Parshall para medição de vazão.



Fonte: Autor, 2012.

5.1.13. Adensador de lodo

A unidade adensadora de lodo é responsável por receber o lodo oriundo do decantador lamelar do tratamento físico-químico, bem como o lodo não recirculado do decantador biológico.

Em se tratando de estrutura, o Adensador de Lodo possui um motor para que a pá raspadora de lodo seja rotacionada e uma bomba responsável por bombear o lodo adensado para o tanque de

condicionamento do lodo, demandando assim energia nesta etapa do processo.

O lodo adensado é destinado ao tanque de condicionamento do lodo, sendo homogeneizado e encaminhado ao filtro prensa para desidratação e formação da torta de lodo.

A Figura 16 apresenta o adensador de lodo da ETEI objeto do estudo.

Figura 16 – Adensador de lodo.



Fonte: Autor, 2012.

5.1.14. Tanque de condicionamento do lodo

O tanque de condicionamento do lodo é a etapa do processo de tratamento do lodo responsável pela sua preparação e homogeneização para bombeamento ao filtro prensa.

Nesta etapa do processo o lodo é agitado através de um agitador mecânico, sendo posteriormente bombeado à prensa desaguadora de lodo. Há também um equipamento medidor de nível, enviando a informação à central de operação. Estes processos e equipamentos são os responsáveis pelo consumo de energia nesta etapa do tratamento de lodo.

A Figura 17 apresenta o tanque de condicionamento do Lodo.

Figura 17 – Tanque de condicionamento de lodo.



Fonte: Autor, 2012.

5.1.15. Filtro Prensa

A ETEI estudo de caso possui dois filtros prensa responsáveis por desaguar o lodo e gerar a torta desidratada de lodo, que é lançada em uma caçamba e destinada ao aterro industrial existente na cidade.

Os filtros prensa operam desde 2004 e possuem motorização de elevada potência em relação aos outros equipamentos, demandando quantidades maiores de energia para operação.

A Figura 18 mostra os filtros prensa utilizados para desidratação do lodo na ETEI em estudo.

Figura 18 – Filtro Prensa para desidratação do lodo.



Fonte: Autor, 2012.

5.1.16. Caçamba para armazenagem da torta de lodo

A caçamba existente na ETEI objeto do estudo é utilizada para armazenamento temporário da torta de lodo gerada na estação. Quando a capacidade da caçamba é atingida o lodo desidratado é encaminhado ao aterro industrial do município.

A Figura 19 apresenta a caçamba onde é armazenada temporariamente a torta de lodo oriunda do filtro prensa para posterior destinação ao aterro industrial do município.

Figura 19 – Caçamba para armazenagem temporária do lodo desidratado da estação de tratamento.



Fonte: Autor, 2012.

5.1.17. Dosadoras

As dosadoras de cal (produto químico utilizado na neutralização) e as dosadoras de polímero (produto químico responsável pela coagulação e precipitação dos metais) localizam-se no andar térreo da ETEI estudo de caso.

As mesmas são operadas a partir da central de operação, sendo determinados níveis máximos e mínimos de produtos químicos dentro dos tanques.

As dosadoras possuem agitadores para homogeneizar os produtos químicos para tratamento e leitores ultrassônicos de nível no interior dos tanques de preparação dos produtos químicos utilizados nos processos de tratamento do efluente.

Estruturalmente, a estação possui 4 tanques de dosagem (2 para cal hidratada e 2 para o polímero). Os agitadores mecânicos, os leitores de nível e as bombas para lançamento dos produtos químicos no efluente que ocorrem no andar superior da estação são equipamentos que demandam energia nesta etapa do processo de tratamento.

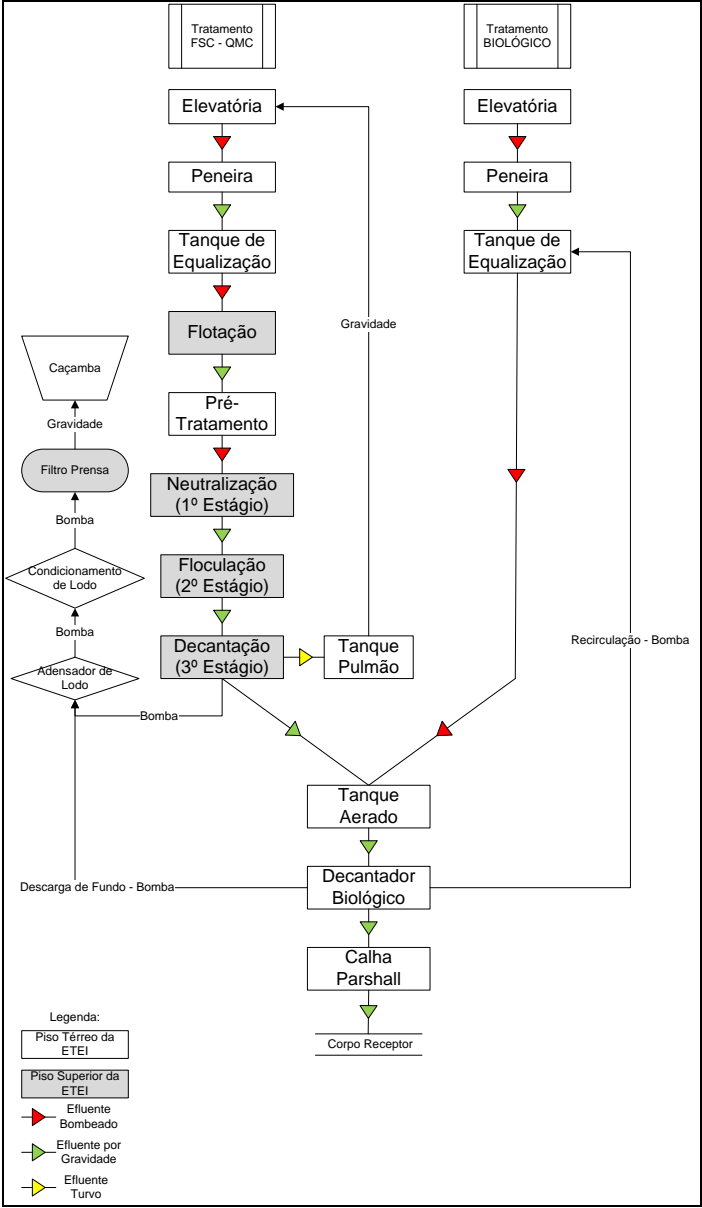
5.2. Fluxograma do Processo de Tratamento

O conhecimento da sequência processual do sistema de tratamento de efluentes da indústria estudo de caso permite uma análise minuciosa das etapas de tratamento e assim a visualização de aspectos passíveis de serem otimizados.

Um fator de relevância nesta análise foi o posicionamento das unidades de tratamento, variando entre piso térreo e piso superior, o que eleva quantidades de bombeamento.

A Figura 20 apresenta um fluxograma do sistema de tratamento da indústria estudo de caso.

Figura 20 – Fluxograma do processo de tratamento da indústria estudo de caso.



Fonte: Autor, 2012.

5.3. Equipamentos que Compõe a Estação

O conhecimento dos equipamentos necessários à operação da ETEI e que demandam energia para seu funcionamento permitem uma análise global das necessidades de todo processo de tratamento e tomadas de decisões no sentido de possíveis readequações de maquinários que promovam melhorias no processo e reduzindo de custos operacionais.

A Tabela 11 apresenta a listagem dos equipamentos consumidores de energia que compõe a estação de tratamento por unidade de tratamento e operação

Tabela 11 – Equipamentos operacionais consumidores de energia nas unidades de tratamento e operação.

Estação de Tratamento de Efluentes Industriais da Indústria Estudo de Caso	
Unidades de Tratamento e Operação	Equipamentos Operacionais Consumidores de Energia
Sala de Controle Operacional	2 Computadores
	1 Ar Condicionado
	Painel Elétrico do Sistema Operacional Automatizado
	12 Lâmpadas Fluorescentes
Estações Elevatórias	2 Bombas Helicoidais Operando
	1 Bomba Helicoidal Reserva
	2 Sensores de Nível
Peneiras	-
Tanques de Equalização	2 Agitadores SEW
	2 Bombas Operando
	1 Bomba Reserva
	2 Sondas Medidoras de pH
Flotadora	1 Compressor Ar Comprimido
	1 Motor Rotacionador da Pá Superficial Raspadora de Óleo
	1 Medidor de Nível (Óleo)
Pré-Tratamento	1 Agitador
	1 Sonda Medidora de pH
	1 Sensor de Nível
	Bomba Dosadora (Ác. Sulfúrico)
	1 Painel Indicador de pH
	1 Bomba Operando
	1 Bomba Reserva
Tratamento (Neutralização)	1 Agitador
Tratamento (Floculação)	1 Agitador
Tratamento (Decantação)	-

Estação de Tratamento de Efluentes Industriais da Indústria Estudo de Caso	
Unidades de Tratamento e Operação	Equipamentos Operacionais Consumidores de Energia
Tanque Pulmão	-
Tanque Aerado com Lodos Ativados	1 Sonda Medidora de pH
	1 Sonda Medidora de SST
	1 Sonda Medidora de OD
	1 Soprador em Operação
	1 Soprador Reserva
Decantador Biológico	1 Bomba Dosadora de Policloreto
	1 Motor Rotacionador da Pá Raspadora de Lodo
	1 Bomba Operando (Lodo)
Calha Parshall	1 Bomba Reserva (Lodo)
	1 Medidor de Nível
Adensador de Lodo	1 Motor Rotacionador da Pá Raspadora de Lodo
	1 Bomba Helicoidal (Lodo)
Condicionamento de Lodo	1 Agitador
	1 Medidor de Nível
	1 Bomba (Lodo)
Filtro Prensa	2 Motores Operando
Caçamba para Armazenagem Temporária do Lodo	-
Dosadoras de Polímero	2 Agitadores
	2 Medidores de Nível
	1 Bomba
Dosadoras de Cal Hidratada	2 Agitadores
	2 Medidores de Nível
	1 Bomba

5.4. Custos Operacionais

Os custos operacionais da ETEI objeto de estudo serão apresentados contemplando um custo global de tratamento, separados conforme descrito nos tópicos a seguir e analisados globalmente nos tópicos 5.4 e 5.5.

5.4.1. Custos com produtos químicos para tratamento

Os custos envolvidos com a compra de produtos químicos utilizados para tratamento constam na Tabela 13. Os produtos químicos que não possuem dados não foram comprados durante o período de

análise do estudo. Os valores unitários dos mesmos constam na Tabela 12.

Tabela 12 - Custos unitários dos produtos químicos para tratamento.

Produto Químico	Embalagem (Kg;L)	R\$/Kg
Ác. Sulfúrico Puro	50	1,66
Cal Técnica	20	0,60
Hidróxido de Sódio	1	22,14
Anti-espumante	50	7,06
Polímero	25	19,80

Observa-se uma variação dos custos mensais, sendo justificada pela variação da qualidade do efluente bruto e também pela quantidade de efluente tratado.

Tabela 13 – Custos operacionais com produtos químicos para tratamento.

Mês 2012	Consumo de Produtos Químicos (Kg;L)					Custo Total (R\$)	Custo Mensal Médio (R\$)
	Ác. Sulfúrico Puro	Cal Técnica	Hidróxido de Sódio	Anti-espumante	Polímero		
Jan	500	1500	-	-	25	2225,00	2999,82
Fev	600	2000	-	-	25	2691,00	
Mar	500	2500	-	-	50	3320,00	
Abr	600	2000	-	-	25	2691,00	
Mai	700	2500	-	-	50	3652,00	
Jun	550	2500	-	-	25	2908,00	
Jul	600	2000	-	-	50	3186,00	
Ago	550	2000	-	-	25	2608,00	
Set	650	2500	-	-	50	3569,00	
Out	600	2500	-	-	25	2991,00	
Nov	700	2500	-	-	25	3157,00	

De modo a facilitar o entendimento e a visualização de variações nos dados, a Tabela 14 apresenta os custos com produtos químicos por metro cúbico de efluente tratado nos meses de análise, permitindo assim uma melhor interpretação dos dados.

Tabela 14 – Custos mensais com produtos químicos por m³ de efluente tratado.

Meses/2012	Quantidade de Efluente Tratado (m ³)	R\$ (Produtos Químicos para Tratamento)/m ³ de Efluente Tratado
Jan	4827,22	0,46
Fev	4737,16	0,57
Mar	5986,71	0,55
Abr	5351,22	0,50
Mai	4766,12	0,77
Jun	3622,08	0,80
Jul	4240,00	0,75
Ago	3624,00	0,72
Set	4600,00	0,78
Out	4669,86	0,64
Nov	4266,08	0,74

Observa-se a partir da Tabela 14 que o mês de junho indica uma situação fora da normalidade operacional, refletindo-se isto no índice global de custo/m³ de efluente tratado (item 5.6.). Visualiza-se um custo elevado por m³ de efluente tratado e uma quantia reduzida de efluentes tratados.

As hipóteses para esta ocorrência podem variar, no entanto convergem para 2 possíveis situações. Uma delas seria a reduzida qualidade do efluente bruto, necessitando maiores quantidades de produto químico. Outra hipótese seria uma falha humana na dosagem dos produtos químicos, excedendo-se os valores de produtos químicos consumidos.

Desta forma destaca-se a importância da análise e do controle mensal destes dados, permitindo uma gestão mais efetiva e completa do sistema.

5.4.2. Custos com produtos químicos para análises internas e custos de eletrodos de pH

A indústria estudo de caso realiza em sua ETEI análises químicas diariamente para um controle de parâmetros como: pH, temperatura, turbidez, sólidos suspensos totais e análise microbiológica. Esta última é realizada uma vez ao dia, enquanto as outras a cada duas horas.

O custo de cada eletrodo medidor de pH é de R\$1050,00. Considerando-se a quantidade e a frequência de troca dos mesmos, conforme descrito no item 4.3.2. foi calculado um valor médio mensal investido na compra de eletrodos de pH (R\$204,17).

O valor médio mensal obtido que é investido em compra de produtos químicos para análises internas (pH, temperatura, turbidez, sólidos suspensos totais e análise microbiológica) e a compra de eletrodos medidores de pH é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 – Custos com análises laboratoriais internas e compra de eletrodos medidores de pH.

Análises Laboratoriais Internas e Compra de Eletrodos de pH		
-	Produtos para Análises Laboratoriais Internas	Eletrodos de pH
Custo Unitário (R\$)	42,11	1050,00
Custo Mensal (R\$)	42,11	204,17

5.4.3. Custos com insumos energéticos

Os custos com insumos energéticos na ETEI objeto de estudo, tendo em vista o tipo de categoria de tarifa de consumo no qual a indústria estudo de caso está enquadrada são apresentados na Tabela 16. Em função da falta de dados de medição pontual na estação, conforme descrito no item 4.3.3., foi obtido um consumo médio mensal, de acordo com a tabela.

Tabela 16 – Custos com insumos energéticos.

Energia Elétrica	
Categoria Cliente	A2
Tipo	Alta Tensão (69Kv)
Tarifa	Horo Sazonal Azul
Valor (R\$) do Kwh em Horário Ponta (18:00h-21:30h)	0,28665
Valor (R\$) do Kwh em Horário Fora Ponta	0,18579
Consumo Mensal Médio Estimado (Kwh)	20000

Energia Elétrica	
Consumo em Horário de Ponta (Kwh)	2500
Consumo em Horário Fora de Ponta (Kwh)	17500
Custo Mensal Médio (R\$)	3967,95

5.4.4. Custos com recursos humanos necessários à operação

Os recursos humanos necessários à efetiva e adequada operação da estação de tratamento são de relevante importância para o processo. Além disto, faz-se necessária a valorização da atividade das pessoas envolvidas com a manutenção da qualidade dos efluentes lançados em corpos hídricos.

A responsabilidade de garantir um efluente tratado de qualidade, garantindo que a indústria esteja adequada aos padrões de legislação vigentes são fatores fundamentais para o funcionamento da mesma.

Conforme descrito no tópico 4.3.4., o presente estudo não busca otimizar custos através de reduções salariais. Assim, incluíram-se os custos salariais para operação da estação estudo de caso somente com o intuito de compor um custo global de efluente tratado por m³ de efluente gerado, tendo em vista todos os insumos necessários ao processo.

Desta forma, a Tabela 17 apresenta os custos que envolvem a mão de obra especializada para operação da estação de tratamento.

Tabela 17 – Custos com recursos humanos.

Funções	Custos Salariais Mensais Totais (R\$)
Técnico Responsável e 3 Operadores	7530,00

5.4.5. Custos com destinação de lodo e materiais retidos nas peneiras

A destinação do lodo gerado, bem como dos materiais retidos nas peneiras da estação envolvem o transporte e a disposição final dos mesmos.

O custo da destinação do lodo é de R\$ 400,00/tonelada. Em função da variação quantitativa e qualitativa do efluente mensal tratado, a quantidade de lodo gerado sofre variações. No entanto, baseados em

dados dos 11 meses do período de análise, obteve-se um índice de geração de lodo médio de 0,78 Kg/m³ de efluente tratado. Em função deste valor obteve-se a quantia mensal gerada para destinação e seu respectivo custo.

Os custos envolvidos nesses procedimentos operacionais são apresentados na Tabela 18 e na Tabela 19.

Tabela 18 – Custos com destinação de material retido nas peneiras.

Custo Médio Mensal	
Serviço	R\$
Destinação do material retido nas peneiras	153,00

Tabela 19 – Custos com destinação do lodo.

Mês	Quantidade de efluente Tratado (m ³)	Quantidade de Lodo Gerado e Descartado em Aterro (ton)	Custo (R\$)	Custo Médio Mensal (R\$)
Jan	4827,22	3,77	1506,09	1437,77
Fev	4737,16	3,69	1477,99	
Mar	5986,71	4,67	1867,85	
Abr	5351,22	4,17	1669,58	
Mai	4766,12	3,72	1487,03	
Jun	3622,08	2,83	1130,09	
Jul	4240,00	3,31	1322,88	
Ago	3624,00	2,83	1130,69	
Set	4600,00	3,59	1435,20	
Out	4669,86	3,64	1457,00	
Nov	4266,08	3,33	1331,02	

Observa-se através dos resultados uma variação com os custos na destinação do lodo gerado, fato este correlacionado com a variação da quantidade de efluente tratado.

5.4.6. Custos com análises laboratoriais externas

A necessidade da comprovação da qualidade do efluente tratado para os órgãos ambientais responsáveis e o atendimento à legislação obriga a indústria estudo de caso a realizar análises laboratoriais complexas, que exigem uma estrutura maior para a sua realização.

Desta forma, a terceirização de análises laboratoriais é necessária. Os custos envolvidos com as análises laboratoriais externas, em acordo com o tipo de análise, constam na Tabela 20.

Tabela 20 – Custos com análises laboratoriais externas.

Análises Laboratoriais Externas			
Tipo	Mensal	Trimestral	Semestral
Custo (R\$)	415,00	1389,00	3800,00
Custo Mensal Médio (R\$)	1141,50		

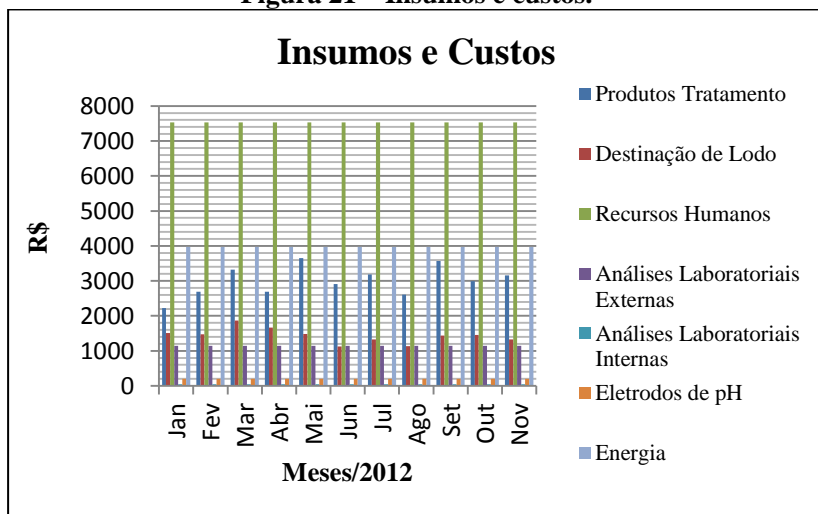
5.5. Custo Operacional Total

Após o levantamento e somatório de todos os custos operacionais envolvidos na cadeia de tratamento dos efluentes industriais da indústria estudo de caso, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 21.

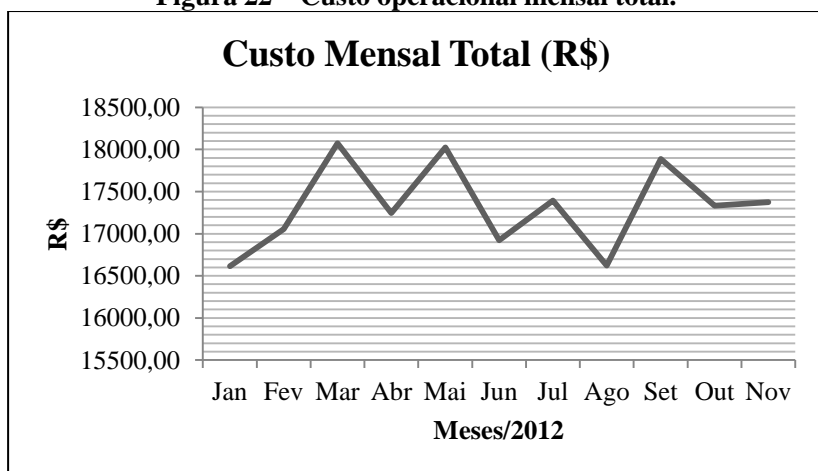
Tabela 21 – Custos operacionais totais.

Meses/2012	Custo Mensal Total (R\$)
Jan	16615,87
Fev	17053,77
Mar	18072,63
Abr	17245,36
Mai	18023,81
Jun	16922,87
Jul	17393,66
Ago	16623,47
Set	17888,98
Out	17332,78
Nov	17372,80

A Figura 21 apresenta um gráfico dos insumos e custos separados por tipo de custo envolvido no processo de tratamento.

Figura 21 – Insumos e custos.

Com o proposito de facilitar a compreensão dos valores da Tabela 21, bem como a compreensão dos resultados, a Figura 22 apresenta a linha de variação dos custos operacionais totais durante os meses de análise.

Figura 22 – Custo operacional mensal total.

5.6. Índice Global de Custo/m³ de Efluente Tratado

O índice global de custo/m³ de efluente tratado busca ser uma ferramenta de gerenciamento norteadora de diretrizes em se tratando de controle de processos de tratamento, valores investidos e análises comparativas de eficiência.

Após a descrição de todos os custos envolvidos no processo de tratamento e tomando-se a quantidade de efluentes tratados mensalmente durante os meses de janeiro a novembro de 2012 calculou-se um índice de custo. Este índice, tido em R\$/m³ de efluente tratado é apresentado mensalmente durante o período mencionado e também um valor médio, obtido durante o período de estudo dos dados, conforme a Tabela 22.

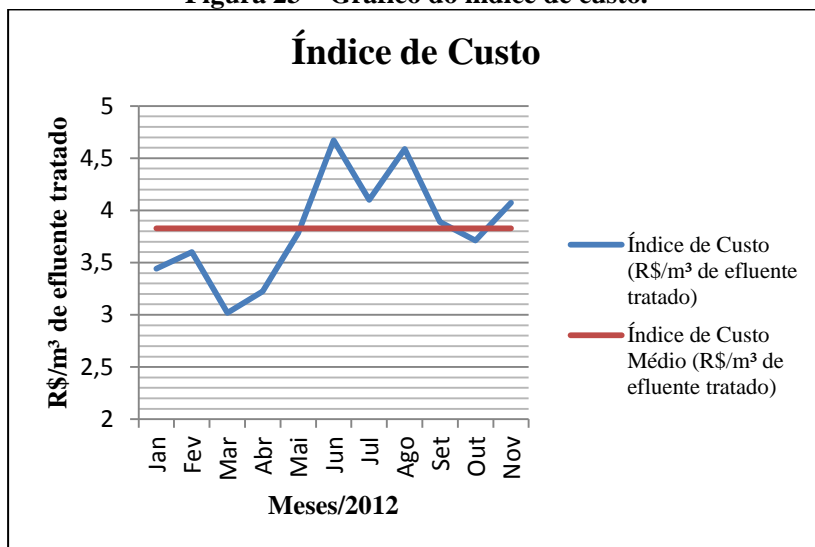
Tabela 22 – Índice Global de Custos.

Meses/2012	Custo Mensal Total	Quantidade de Efluente Tratado (m ³)	Índice de Custo R\$/m ³ de Efluente Tratado
Jan	16461,40	4827,22	3,44
Fev	16902,18	4737,16	3,60
Mar	17881,06	5986,71	3,02
Abr	17074,12	5351,22	3,22
Mai	17871,29	4766,12	3,78
Jun	16806,96	3622,08	4,67
Jul	17257,98	4240,00	4,10
Ago	16507,50	3624,00	4,59
Set	17741,78	4600,00	3,89
Out	17183,34	4669,86	3,71
Nov	17236,28	4266,08	4,07
Índice de Custo Médio (R\$/m³ de efluente tratado):			3,83

Pode-se observar uma variação de valores que se encontram no intervalo de R\$3,02/m³ de efluente tratado até R\$4,67/m³ de efluente tratado. Tal variação alta no mês de junho está interligada com um consumo de produtos químicos elevado e uma quantidade de efluente mensal tratada consideravelmente abaixo da média.

Deste modo, para facilitar a visualização dos dados calculados, a Figura 23 apresenta o gráfico da variação do índice de custo global de tratamento mensal, bem como a indicação do índice de custo global médio de tratamento.

Figura 23 – Gráfico do índice de custo.



O valor médio obtido do índice de custo de R\$3,83/m³ de efluente tratado se mostra um valor considerado regular, tendo em vista que o mesmo pode ser otimizado, mas sob outra perspectiva, encontra-se aproximado ou pouco abaixo do valor de mercado em alternativas de terceirização do tratamento de efluentes. Apesar disso, é de relevância citar que o tratamento de efluentes realizado na própria indústria geradora permite um maior controle e gestão dos custos, atribuindo também uma imagem de valor e preocupação ambiental por parte da indústria que produz efluentes.

5.7. Ações de Otimização

Após a realização do estudo verificou-se que a estação de tratamento de efluentes industriais possui uma grande preocupação no controle dos seus processos de operação e tratamento dos efluentes gerados.

Entretanto, a realização do estudo permitiu uma análise minuciosa dos processos, da utilização de insumos e das dificuldades operacionais encontradas na rotina operacional da estação.

Assim, como forma de melhoria de processos e otimização de custos operacionais o estudo propõe as seguintes medidas:

- ✓ Análise e readequação da localização da Unidade Flotadora, visto que a mesma está alocada no andar superior da ETEI, obrigando a realização de 2 bombeamentos ao piso superior (Tanque de equalização – Unidade flotadora e posteriormente Tanque de Pré-tratamento – Neutralização). Alocando a Unidade Flotadora no piso térreo seria necessário somente 1 bombeamento direcionado ao piso superior (Unidade de Pré-tratamento – neutralização), sendo o outro bombeamento (Unidade Flotadora – unidade de pré-tratamento) com altura manométrica reduzida, reduzindo potencia de bombeamento, otimizando-se custos energéticos;
- ✓ Substituição de motores e bombas com elevado tempo de utilização e sem comprovação de eficiência energética por equipamentos novos, com selos comprobatórios de eficiência energética;
- ✓ Realização de ações de *benchmarking*, visando uma comparação qualitativa e quantitativa dos processos de tratamento e dos custos envolvidos nos mesmos, atentando-se ao índice de custo de tratamento/m³ de efluente tratado;
- ✓ Instalação de equipamento medidor de consumo energético na estação de tratamento de efluentes industriais, descentralizando a medição de consumo do restante da planta industrial. Tal ação possui o intuito de controlar custos e analisar irregularidades no consumo energético, facilitando a gestão da ETEI;
- ✓ Monitorar a umidade do lodo gerado na estação, reduzindo-se custos com o peso do material encaminhado à destinação final;
- ✓ Ampliar programas de consciência ambiental na indústria, buscando-se a redução de resíduos que chegam ao peneiramento da estação, reduzindo-se custos de manutenção e destinação de resíduos;

- ✓ Realizar vistoria nas tubulações e no decorrer do caminhamento delas até a ETEI, evitando-se infiltrações em casos de eventos de precipitação. Tal medida reduz significativamente a vazão de efluentes a serem tratados e todos os custos envolvidos no processo de tratamento.
- ✓ Realizar um estudo de viabilidade para alterar a localização das dosadoras para o andar superior, reduzindo-se custos de bombeamento do piso térreo para o andar superior, além da redução de custos com manutenção, principalmente da tubulação da cal hidratada causadas por entupimento e incrustação das mesmas.
- ✓ Realizar um estudo para manutenção e/ou troca das tubulações existentes e uma análise minuciosa do seu caminhamento, analisando seu material, suas junções e curvaturas. Tal ação tem o propósito de reduzir perdas de carga distribuídas e localizadas, reduzindo potências de bombeamento, otimizando custos com energia elétrica;
- ✓ Ampliar e efetivar a utilização de indicadores de gestão e desempenho dos processos, norteadores de diretrizes para tomadas de decisão;
- ✓ A fim de reduzir consumos energéticos no laboratório e central de operação da estação, realizar uma pintura reflexiva da parte externa do telhado da estação, visando o conforto térmico e reduzindo consumos energéticos com equipamentos condicionadores de ar;
- ✓ Instalação de um trilho para movimentação da caçamba de lodo, facilitando a operação e evitando-se o desgaste do piso da estação quando o caminhão retira a mesma da estação;
- ✓ Estudo para substituição de equipamentos como os filtros-prensa, tendo em vista seu longo tempo de uso e

a alta potencia dos seus motores, consumindo quantidades consideráveis de energia.

6. CONCLUSÕES

Através da realização do presente estudo concluiu-se que:

- ✓ O índice global de custo operacional de tratamento calculado da estação objeto do estudo foi de R\$3,83/m³ de efluente tratado. Conclui-se que este valor pode ser considerado regular, tendo em vista que os custos de terceirização do efluente encontram-se próximos ou acima deste. Entretanto o tratamento dentro da indústria permite um controle maior dos custos e processos. Além disso, fatores como a responsabilidade e preocupação ambiental da indústria em tratar seus efluentes são um diferencial no mercado competitivo;
- ✓ Apesar do controle dos processos já existente, é possível realizar ações de otimização de processos e de custos operacionais, conforme descrito no item anterior e que contribuiriam significativamente para redução dos custos e melhorias do processo de tratamento;
- ✓ Para uma redução de custos operacionais é de fundamental importância o investimento em inovação e equipamentos com eficiência energética comprovada. Para tais investimentos são necessários estudos de viabilidade;
- ✓ O reposicionamento da unidade flotadora para o piso térreo otimizaria os custos operacionais de tratamento, tendo em vista a redução de 1 bombeamento que opera de modo geral 24h/dia;
- ✓ O monitoramento da umidade do lodo, que é encaminhado à destinação final, é ferramenta fundamental para o controle e redução dos custos operacionais;
- ✓ A ampliação e a efetivação de ferramentas de gestão, como índices e indicadores de desempenho permitem um controle mais amplo do sistema.

- ✓ A partir da realização do trabalho foi possível concluir que a otimização de custos operacionais faz parte de um trabalho coletivo e somente é alcançada com o esforço e apoio conjunto dos diversos níveis hierárquicos dentro da indústria.
- ✓ Como oportunidade de melhoria e acréscimo ao trabalho é sugerida uma análise histórica de custos de manutenção da estação, observando a partir de que período é mais econômico substituir equipamentos ao invés de arcar com custos elevados de manutenção. Outra melhoria recomendada para futuros trabalhos é a inclusão dos impostos na composição da folha salarial dos colaboradores da estação.

7. BIBLIOGRAFIA

AMORIM, H. **Movimentos em usinagem e terminologia de ferramentas**. Apostila da disciplina “Processos de Fabricação por Usinagem”. UFRGS:2003.

BERNARDO, L.; DANTAS, A. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2. ed. São Carlos: RIMA Editora. v. 02. 2005

CAMPOS FILHO, M. P. ; DAVIES, G. J. **Solidificação e fundição de metais e suas ligas**. 1 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 246 p. 1978.

CHEGATTI, S. **Aplicação de resíduos de fundição em massa asfáltica, cerâmica vermelha e fritas cerâmicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 122p. 2004.

DE HAAS, D. W. ; WENTZEL, M. C. ; EKAMA, G. A. ; **The use of simultaneous precipitation in modified activated sludge systems exhibiting biological excess phosphate removal**. Water SA vol 26, n 4 Oct. 2000.

DESCOINS, N. ; STEPHANE, D. ; REMI, L. & MARECHAL. **Energetic efficiency in Waste Water Treatments Plants: Optimization of activated sludge process coupled with anaerobic digestion**. In Proc. Of the 23rd international conference on efficiency, cost, optimization, simulation and environmental impact of energy systems, Lausanne, 14-17 June, (pp. 1062-1069). 2010.

DURÁN, A. ; MONTEAGUDO, J. M. ; SAN MARTÍN, I. **Photocatalytic treatment of an industrial effluent using artificial and solar UV radiation: An operational cost study on a pilot plant scale**. Journal of Environmental Management , Amsterdam, Holanda, 2012.

FERRARESI, Dino. **Usinagem dos metais**. São Paulo: E. Blucher. v. 1970

FRIEDLER, E. ; PISANTY, E. **Effects of design flow and treatment level on construction and operation costs of municipal wastewater treatment plants and their implications on policy making.** Water Research, v. 40 p. 3751-3758, 2006.

FU, F. ; WANG, Q. **Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review.** Journal of Environmental Management, Amsterdam, Holanda, 2011.

FUNGARO, D.A.; IZIDORO, J.C.; ALMEIDA, R.S. **Remoção de compostos tóxicos de solução aquosa por adsorção com zeólita sintetizada a partir de cinzas de carvão.** Eclética Química, v. 30, p. 31-35, 2005.

GOLDEMBERG, JOSÉ. **Pesquisa e desenvolvimento na área de energia.** São Paulo Perspec.[online]. 2000, vol.14, n.3, pp. 91-97.

GUEDES, A. L.; FARIA, A. **Globalização e investimento direto estrangeiro: um estudo exploratório da indústria automotiva brasileira.** Rev. Sociol. Polit. n.19, p. 55-69, 2002.

HARADA, Franco Hamilton. **Uso da técnica produção mais limpa em estação de tratamento de efluentes industriais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

HERNANDEZ-SANCHO, F. ; MOLINOS-SENANTE, M. ; SALA-GARRIDO, R. **Cost modelling for wastewater treatment processes.** Journal Desalination, v. 268 p. 1-5, 2011.

KANICKI, D. P. **Casting advantages, applications and market size.** Metals Handbook, cap. 1, v. 15, 1988.

LEMONS, J.L.S.; SANTOS, R.L.C. **Aplicação de microrganismos na recuperação de metais.** Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Série Anais. Rio de Janeiro: Ed. CETEM, 446 p. 2007.

MARTINS, E. **Contabilidade de Custos.** São Paulo: Editora Atlas. 2003.

M/J Industrial Solutions. **Municipal wastewater treatment plant energy base-line study**. Prepared for Pacific Gas and Electric Company. San Francisco CA. 2003.

NASCIMENTO, S.C.; HYPOLITO, R.; RIBEIRO, A.A. **Disponibilidade de metais pesados em aterro de indústria siderúrgica**. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v. 11, p. 196-202, Rio de Janeiro, 2006.

NEVES, C. A. **Melhorias na estação de tratamento de efluentes de uma empresa metal-mecânica de produção de componentes hidráulicos**. Dissertação (Mestrado profissionalizante em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-químico de Águas Residuárias Industriais**. Aracajú: Grafica e editora Triunfo Ltda. 2001.

NUNES, N. V. **Pintura industrial aplicada**. Rio de Janeiro: Maity Comunicação e Ed., 1990. 178p.

PATOINE, A. *et al.* **Toxicity reduction and removal of dehydroabietic and abietic acids in a continuous anaerobic reactor**. Water Research, v. 31, n. 4, p.825-831, 1997.

PERALTA-ZAMORA, P.; ESPOSITO, E.; REYES, J. e DURAN, N. **Remediação de efluentes derivados da indústria de papel e celulose: tratamento biológico e fotocatalítico**. Quím. Nova [online]. vol.20, n.2, pp. 186-190. 1997.

PEREIRA NETO, A.; BRETZ, J.S.; MAGALHÃES, F.S.; MANSUR, M.B.; ROCHA, S.D. F. **Alternativas para o tratamento de efluentes da indústria galvânica**. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v. 13, p. 263-270, Rio de Janeiro, 2008.

QUEISSADA, D. D.; SILVA, F. T.; PAIVA, T.C.B. **Tratamentos integrados em efluente metal-mecânico: precipitação química e biotratamento em reator do tipo air-lift**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 16 nº2, p. 181-188, Rio de Janeiro, 2011.

RITTMANN, B. E. ; McCARTY, P. L. **Environmental biotechnology: principles and applications**. New York: McGraw Hill. v.1. 2001.

ROJAS, J. ; ZHELEV, T. **Energy efficiency optimisation of wastewater treatment: Study of ATAD**. Computers and Chemical Engineering , Amsterdam, Holanda, 2012.

SILVA, Raida de Jesus; MORABITO, Reinaldo. **Otimização da programação de cargas de forno em uma fábrica de fundição em aço-inox**. Gest. Prod. vol.11, n.1, p. 135-151, 2004.

TAMBOSI, J. **Remediação de efluente da indústria de papel e celulose por processos oxidativos avançados e coagulação férrica**. Dissertação de mestrado em Engenharia Química, UFSC, 2005.

TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 3a Edição. McGraw-Hill. New York. 1.819 p. 2003.

TOZE, S. **Reuse of effluent water-benefits and risks**. Agric. Water Manage. 80, 147-149. 2005.

VILLAS, M. R. A. **Processo de deposição de tintas catódicas por eletroforese e suas correlações com a qualidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2006.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Vol. 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 243 p. 1996.

VON SPERLING, M. **Princípio básico do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 211 p. 1996.

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 428 p. 1997.

WALKER, J. **Machining Fundamentals**. GW Publisher, USA. 2000.